

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-335461

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl. ⁹	識別記号	F I	
H 0 1 L	21/768	H 0 1 L	21/90
	21/314		21/314
			21/90
			B
			M
			K

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 12 頁)

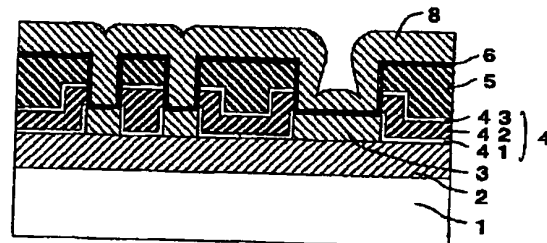
(21) 出願番号	特願平10-88772	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成10年(1998)4月1日	(72) 発明者	松原 義久 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式 会社内
(31) 優先権主張番号	特願平9-83773	(72) 発明者	遠藤 和彦 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式 会社内
(32) 優先日	平9(1997)4月2日	(74) 代理人	弁理士 宮越 典明
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 半導体装置及び半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 非晶質弗化炭素膜と配線金属との反応を防止し、特に多層配線構造におけるビアホール、コンタクトホールでの膜剥がれや配線不良が生じない半導体装置及び製造方法を提供する。

【解決手段】 非晶質弗化炭素膜42と配線金属(第2配線層8)との界面に、窒化チタン等の窒素を含有させた高融点金属膜6を設置する。この窒素含有高融点金属膜6が弗素の拡散防止膜として働くため、加熱処理時における“配線金属と弗素との反応”及びそれに伴う“配線金属の剥がれや膨れ、配線抵抗の増大”等の問題を防止出来る構造が得られる。また、製造工程に加熱処理を導入することが可能であるため、非晶質弗化炭素の低誘電率という利点を生かした、より実用的な多層配線構造のLSI作製プロセスが完成する。



- 1: シリコン基板
- 2: 絶縁膜
- 3: 第1配線層
- 4: 低誘電率層間絶縁膜
- 5: 平坦化絶縁膜
- 6: 窒素含有高融点金属膜
- 8: 第2配線層
- 41: 密着層
- 42: 非晶質弗化炭素膜
- 43: 密着層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁性材料の少なくとも一部が非晶質弗化炭素膜よりなる半導体装置において、該非晶質弗化炭素膜と金属または合金材料との界面の少なくとも一部に窒素含有高融点金属膜を含む膜を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記非晶質弗化炭素膜が多層配線構造における層間絶縁膜の少なくとも一部として用いられることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 前記非晶質弗化炭素膜が多層配線構造における層間絶縁膜の少なくとも一部として用いられる半導体装置において、少なくともビアホールまたはコンタクトホール側の側壁における該非晶質弗化炭素膜と金属または合金材料との界面に窒素含有高融点金属膜を含む膜を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項4】 前記窒素含有高融点金属膜が導電性窒素含有高融点金属膜であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項5】 前記窒素含有高融点金属膜が窒素含有チタン膜であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項6】 前記窒素含有高融点金属膜がチタンと窒素の構成比がおおむね1対1の窒化チタンであることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項7】 前記金属または合金材料が、アルミニウム、チタン、タングステン、銅、シリコンの内より選ばれた金属または少なくともこれらの金属の一つを含む合金であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項8】 少なくとも一部に非晶質弗化炭素膜を含む絶縁膜を形成する工程と、該絶縁膜を選択的にエッチングする工程と、該絶縁膜上に導電性の窒素含有高融点金属膜を成膜する工程と、続いて配線金属を成膜する工程を有し、少なくとも窒素含有高融点金属膜の成膜後に加熱工程を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記配線金属がアルミニウム、チタン、タングステン、銅、シリコンの内より選ばれた金属または少なくともこれらの金属の一つを含む合金であることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 少なくとも一部に非晶質弗化炭素膜を含む絶縁膜を形成する工程と、該絶縁膜を選択的にエッチングする工程と、該絶縁膜上に導電性の窒素含有高融点金属膜を成膜する工程と、該窒素含有高融点金属膜上にチタン膜を成膜する工程と、続いてアルミニウムまたはアルミニウムを含む合金からなる配線金属を成膜する工程を有し、少なくとも窒素含有高融点金属膜の成膜後に加熱工程を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記加熱工程の温度が200℃以上であり、かつ400℃以下であること特徴とする請求項8から請求項10のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記導電性窒素含有高融点金属膜が窒素含有チタン膜であることを特徴とする請求項8から請求項11のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記導電性窒素含有高融点金属膜がチタンと窒素の構成比がおおむね1対1の窒化チタンであることを特徴とする請求項8から請求項11のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、絶縁性材料として非晶質弗化炭素膜を有する半導体装置に関し、特に、多層配線構造における層間絶縁膜として非晶質弗化炭素膜を用いる半導体装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体超高集積回路(LSI)の集積度の上昇により、いまや0.25μm以下の微細な寸法精度をもった個別素子が、シリコン基板表面近傍に集積されるようになった。

【0003】LSIは、個別素子間を配線で結びつけることによって始めてその機能を発揮するが、個別素子間の相互接続における配線の交差箇所を避けるために配線を迂回したりすると、チップ面積に占める配線面積を増大したり、配線長を増大して配線遅延の原因となる。そこで、配線の交差箇所や重なりを防ぐために、配線間に絶縁膜を挿入することで配線を多層化する技術が一般的になってきた。

【0004】しかし、薄い絶縁膜を挟んで構成される多層配線技術では、異なる配線層間、あるいは、配線層とシリコン基板間での浮遊容量が大きくなるという問題があり、これが配線遅延や、上下で隣接する2つの配線を共に高周波成分を含んだ信号が伝達される場合のクロストークの原因となっていた。

【0005】配線層間の浮遊容量を小さくし、配線遅延やクロストークを防止する一つの手段は、上下配線間の距離を増加させる、すなわち層間絶縁膜を厚くする方法であるが、これは、一方でシリコン基板と配線層間あるいは上下の配線層間の接続のために形成するコンタクトホールやビアホールが深くなることを意味する。深いコンタクトホールやビアホールの形成は、これらホール形成のためのドライエッチング技術をより一層困難とするもので、この点からは、層間絶縁膜の厚さを増大させることは好ましくない。例えば、256メガビットDRAM(ダイナミック・ランダム・アクセス・メモリ)以降の半導体集積回路技術のように、コンタクトホールの径も0.25μm以下が要求される場合、ドライエッチング技術の点からは、アスペクト比と呼ばれるコンタクトホールの径に対するその深さの比は、最大5以下に抑

えることが望ましい。つまり、層間絶縁膜の厚さを約1 μm 以下に抑えた上で浮遊容量を減少させることが要求される。

【0006】また、上下の配線層間の問題の他、寸法精度の微細化に伴い同一平面上に形成された配線間での浮遊容量増大も問題となる。半導体集積回路の微細化は、配線太さの減少と同時に配線間隔の微細化をも要求し、やがて配線間隔は配線太さと同等になると予想されている。このように配線間隔が小さくなる場合、同一配線層内の配線間浮遊容量が重大な問題となる。高集積化の要求からは配線間隔を広げることではできないので、層間絶縁膜を厚くすることも不可能ではない上下配線層間よりも、同一層に配置された配線間での配線遅延やクロストークの問題は深刻である。

【0007】なお、本明細書では、上述したような上下の配線層間の絶縁膜、配線層とシリコン基板間の絶縁膜及び同一層の配線間に設置する絶縁膜を全て含めて“層間絶縁膜”と呼ぶことにする。

【0008】こうした技術的背景に沿って、比誘電率(ϵ_r)の小さい絶縁性薄膜の開発が行われている。これは、同一構造の場合の節電容量は電極間絶縁物の比誘電率に比例し、また、一般に配線遅延は絶縁材料の比誘電率の平方根に比例することから、低誘電率の材料を層間絶縁膜として用いることにより、配線間の浮遊容量を低減し、配線遅延を小さくすることが可能となるという理由による。このため、LSI技術で広く使用される絶縁膜である“ Si_3N_4 ($\epsilon_r=7$)”“ SiO_2 ($\epsilon_r=3.9$)”などに替えて、例えば、比誘電率(ϵ_r)が3以下の低誘電率材料を層間絶縁膜として用いれば、層間絶縁膜の膜厚を厚くして加工を困難にするなどの問題を回避しつつ、配線遅延やクロストーク等の問題を解決することができる。

【0009】低誘電率材料の使用法としては、層間絶縁膜の全体を低誘電率材料で構成する方法以外に、層間絶縁膜の一部に低誘電率材料を使用する方法がある。例えば、層間絶縁膜を2層構造とし、下層を低誘電率材料膜、上層を従来用いられている SiO_2 等の絶縁材料で構成する方法である。この方法を採用する場合、同一層配線間などの配線間容量が最も深刻となる部分に低誘電率絶縁膜を使用することで、浮遊容量やクロストークの問題を解決し、かつ、上層に SiO_2 等の加工性に優れた材料を使用することで、平坦化が容易になるなどの利点を持つ。(この場合の上層の絶縁膜を以下では“平坦化絶縁膜”と呼ぶ。)このような積層構造における上下層間の容量は、低誘電率膜による容量と平坦化絶縁膜による容量の直列接続となるが、これらの膜厚比を調整することにより、層間絶縁膜全体としての実効的な比誘電率を目的の値に調整することが可能である。

【0010】上記のような目的で用いられる低誘電率材料の一つとして、非晶質弗化炭素膜(a-C:F)が知ら

れている(特開平8-83842号公報、特開平8-222557号公報、特開平8-236517号公報など参照)。そして、非晶質弗化炭素は、その製法及び弗素含有量に応じて比誘電率(ϵ_r)を“2”近くまで小さくすることが可能であり、さらに400°C以上の耐熱温度が得られるなど、LSIプロセスとの整合性も良く、上記問題を解決する低誘電率材料として期待されている。

【0011】この非晶質弗化炭素膜を多層配線間の層間絶縁膜に適用した例として、本願と同一出願人による先願明細書(特願平8-321694号明細書)に開示されている半導体装置(以下“先願例”と呼ぶ)を、図8を参照して、説明する。先願例では、図8に示すように、層間絶縁膜を「非晶質弗化炭素膜42からなる低誘電率層間絶縁膜4と平坦化絶縁膜5」との2層より構成した多層配線半導体装置が示されている。(なお、図8において、1はシリコン基板、2は絶縁膜、3は第1配線層、4は低誘電率層間絶縁膜、7はビアプラグ、8は第2配線層、41および43は密着層、42は非晶質弗化炭素膜を示す。)

【0012】

【発明が解決しようとする課題】先に述べたように、非晶質弗化炭素は、低い誘電率(ϵ_r)を有するため、層間絶縁膜材料としての期待が大きい。化学的に活性な弗素を含有するため、配線金属や上下層を接続するコンタクトホール、ビアホールを形成する技術に関して問題が残し、実用化を阻んでいる。すなわち、非晶質弗化炭素膜と配線金属が接触している場合、その後の熱処理過程において非晶質弗化炭素膜中の弗素と金属が反応してしまうという問題である。

【0013】例えば、図9は、非晶質弗化炭素膜とチタン(Ti)膜を積層した単純な構造において、熱処理を加えた際の弗素の拡散を調べたものである。加熱処理条件は、真空中において“200°Cから350°Cで30分”とし、加熱処理を行った後、非晶質弗化炭素膜とTiの界面近傍での弗素組成をX線光電子分光法(XPS)により測定している。この図9より、200°C以上の熱処理を加えることにより非晶質弗化炭素膜中の弗素がTi中に拡散していることがわかり、Tiと弗素が反応することがうかがわれる。

【0014】このように非晶質弗化炭素膜中の弗素が金属と反応すると、以下に述べるような問題を引き起こす。まず、非晶質弗化炭素膜中の弗素含有比が低下するのに伴って、膜の比誘電率が上昇し、この結果、配線間容量が増大する。また、弗素との反応で生成した金属弗化物は一般に金属よりも高い抵抗率を持つため、配線抵抗が増大する。これら配線間容量や配線抵抗の増大は、ともに配線遅延の増大につながる。さらに、弗素と反応して生成した金属弗化物が比較的低い沸点を持つため、熱処理工程により気化し、ガスが発生するという問題がある。例えば、Tiが弗素と反応して生成するTiF₄、

の沸点は284°Cであり、これは300°C程度の熱処理で容易に気化してしまう。この結果、弗素が拡散した領域のTiが消失して配線抵抗の増大をもたらす、回路動作を妨げるだけでなく、気泡の発生によりその周辺や上部に形成した構造に膨れや剥がれを発生させ、半導体装置の不良原因となっていた。

【0015】これらの問題は、非晶質弗化炭素と接触する金属がTiの場合に限られない。例えば、WやAl、銅(Cu)、あるいは、これらの金属を含有する合金材料を配線金属として用いる場合においても、弗素との反応が問題となる。また、上記のような単純な構造の場合に限られず、金属と非晶質弗化炭素が接触する構造を有する限り、いかなる半導体装置においても発生する。例えば、前記図8に示した先願例の多層配線構造においても、ビアホール側壁において配線金属と非晶質弗化炭素膜が接触しているなど、改善の余地がある。つまり、半導体装置の構造や接触場所、さらには金属の種類を問わず、金属と非晶質弗化炭素の接触部が存在し、その後熱処理を行う限り、必ず上記の問題が発生して不良原因となっていた。非晶質弗化炭素膜の形成後に加熱を伴う処理を全く行わないことは、プロセス上非常に困難な制限となるため、加熱処理を行っても、上記反応を抑制する構造が期待されていた。

【0016】このような金属と弗素との反応を防止する手段として、その界面にシリコン酸化膜やシリコン窒化膜などの絶縁膜を緩衝層として挿入する構造が開示されている(特開平8-264648号公報)。前述した図8の先願例においても、非晶質弗化炭素膜42を上下で挟む密着層41及び43は、それぞれシリコン過剰酸化膜(SiO)とダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜からなり、非晶質弗化炭素膜42とその周囲との密着性向上とともに、AlSiCuからなる第1配線層3の側壁を弗素との反応から保護する役割を担っている。

【0017】しかしながら、このような絶縁膜により金属を保護する構造を、コンタクトホールやビアホールの側壁保護に適用するのは困難である。なぜなら、絶縁膜をホール内壁に配置することは、埋込配線金属の断面積を減少させ、抵抗値の上昇を伴うという問題があり、また、ホール側壁保護の目的で絶縁膜を成膜した場合、上下配線層接続のためには必ずホール底面の絶縁膜を除去する必要があり、作製プロセスが非常に困難なものとなるためである。

【0018】ここに本発明の目的は、上記のような問題に鑑み、低い誘電率を持つ層間絶縁膜として非晶質弗化炭素を用いる場合の弗素と配線金属の反応を防止し、配線遅延の増大や構造の破損などの問題を解決し、ひいては、非晶質弗化炭素の低誘電率であるという特徴を生かした、より実用的な半導体装置の構造及び製造方法を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体装置は、絶縁性材料の少なくとも一部が非晶質弗化炭素膜よりなる半導体装置において、非晶質弗化炭素膜と金属または合金析料との界面に窒素含有高融点金属膜を含む膜を有することを特徴とする。この窒素含有高融点金属膜は、必ずしも非晶質弗化炭素膜と金属または合金材料との全ての界面に設置する必要はない。

【0020】また、本発明の半導体装置に用いられる非晶質弗化炭素膜は、多層配線構造における層間絶縁膜の少なくとも一部を形成することが出来る。さらに、この場合の窒素含有高融点金属膜を含む膜は、ビアホールまたはコンタクトホールの側壁における非晶質弗化炭素膜と金属または合金材料との界面に設置することが有効である。

【0021】また、本発明の窒素含有高融点金属膜は、導電性であることが好ましい。

【0022】また、上記窒素含有高融点金属膜としては、窒素含有チタンが有効であり、特にチタンと窒素の構成比がおおむね1対1の窒化チタンである場合に最も高い効果が得られる。

【0023】本発明の半導体装置の製造方法は、少なくとも一部に非晶質弗化炭素膜を含む絶縁膜を形成する工程と、該絶縁膜を選択的にエッチングする工程と、該絶縁膜上に導電性の窒素含有高融点金属膜を成膜する工程と、続いて配線金属を成膜する工程を有し、かつ少なくとも窒素含有高融点金属膜の成膜後に加熱工程を含むことを特徴とする。前記配線金属としては、アルミニウム、チタン、タングステン、銅、シリコンの内より選ばれた金属、または、少なくともこれらの金属の一つを含む合金であることができる。

【0024】また、本発明の他の半導体装置の製造方法は、少なくとも一部に非晶質弗化炭素膜を含む絶縁膜を形成する工程と、該絶縁膜を選択的にエッチングする工程と、該絶縁膜上に導電性の窒素含有高融点金属膜を成膜する工程と、該窒素含有高融点金属膜上にチタン膜を成膜する工程と、続いてアルミニウムまたはアルミニウムを含む合金からなる配線金属を成膜する工程を有し、かつ少なくとも窒素含有高融点金属膜の成膜後に加熱工程を含むことを特徴とする。

【0025】以上の半導体装置の製造方法における加熱工程の温度が200°C以上であり、かつ400°C以下であることが望ましい。

【0026】また、これらの製造方法において用いる導電性窒素含有高融点金属膜は、窒素含有チタン膜であることが望ましく、特にチタンと窒素の構成比がおおむね1対1の窒化チタンであることが有効である。

【0027】(作用)本発明者は、非晶質弗化炭素膜と金属の界面に、窒素を含有させた高融点金属膜を設置することが、熱処理の際の非晶質弗化炭素膜から金属中への弗素の拡散及び反応防止に有効であることを新たに発

10

20

30

40

50

見した。この目的に用いる高融点金属としては、チタンやタンクル、タングステンなどが使用できるが、特にチタンを用いた場合に効果が高い。さらに、チタンと窒素の構成比がほぼ1対1である場合、すなわち通常のTiN膜を用いた場合に、弗素の拡散防止膜として最も有効であることを見出した。

【0028】この窒素含有高融点金属膜による拡散防止効果、すなわち金属中への弗素の拡散、反応を防止する効果は、以下の理由によるものと考えられる。窒化チタンのような高融点金属の窒化物においては、金属原子と窒素原子が極めて強い結合で結ばれており、熱的、化学的に非常に安定であるという性質を示す。従って、高融点金属窒化物が弗素などと反応するためには、まず金属-窒素結合を切る必要があり、このような反応は非常に起こりにくいものとなる。また、この結果として、高融点金属窒化物内への弗素の拡散も起こらない。

【0029】このように熱的、化学的に安定な高融点金属窒化物の薄膜を非晶質弗化炭素膜のような弗素含有膜と金属の界面に設置した場合、弗素の反応及び拡散が高融点金属窒化物膜において防止される結果、金属内への弗素の拡散および反応を防止することが出来るようになる。また、高融点金属窒化物においては、その高融点金属と窒素の構成比が化学量論組成の時に最も安定となる。このため、窒素含有チタンにおいては、その化学量論組成である構成比1対1の場合に弗素拡散防止効果が最も高くなるものと考えられる。これは他の高融点金属においても同様であり、窒素含有タングステン及び窒素含有タンクルにおいても、それぞれの化学量論組成であるWN及びTa₂Nにおいて弗素拡散防止効果が最も高くなる。

【0030】このような効果を持つ窒素含有高融点金属膜であるが、これが電気的に導電性である場合、半導体装置の構造及びその製造方法において顕著な効果が得られる。すなわち、従来シリコン酸化膜やシリコン窒化物など主にシリコン系絶縁物の弗素拡散防止効果が知られており、前記図8の先願例に示したように、配線層保護に用いられていた。しかし、弗素拡散防止効果を有する導電性物質は知られていなかったため、ビアホールやコンタクトホールに埋め込む金属の側壁保護が困難となっていたのである。ここに本発明に開示する導電性の窒素含有高融点金属膜、例えば窒化チタンをホールの側壁保護に適用する場合、ホール底面に導電膜が存在しても上下層の電気的接続に問題が無い。従って、その形成プロセスは、ホールに配線金属を埋め込む前に導電性窒素含有高融点金属膜を全面に形成するだけでよく、その後の加工等は配線金属材料と一体として行うことが可能である。つまり、工程をほとんど増加させることなく弗素拡散防止効果が得られる。さらに、このような導電性物質を用いる場合、ホール内壁に保護膜を形成しても、絶縁性物質を用いる場合に比較して、抵抗値増加の問題が少

ない。

【0031】つまり、非晶質弗化炭素膜を絶縁膜として用いる半導体装置において、非晶質弗化炭素膜と金属材料が接触するような箇所には、従来知られていたシリコン系絶縁膜と本発明が開示する窒素含有高融点金属膜のうちのいずれかを選んで、その界面に設置することにより金属と弗素の反応を防止することが可能となる。この際、構造上またはプロセス上絶縁膜であることが望ましい箇所にはシリコン系絶縁膜を、逆に導電膜であることが望ましい箇所には導電性の窒素含有高融点金属膜を設置すればよいのである。

【0032】さらに、配線金属又は合金と非晶質弗化炭素膜の界面に窒素含有高融点金属膜を挿入する構造を採用することにより、非晶質弗化炭素膜を成膜後のプロセスにおいても加熱工程を取り入れることが出来るようになり、より実用的なLSIプロセスが完成する。すなわち、従来取り入れることが出来なかった200°C以上の基板加熱を伴う成膜プロセスや、素子性能向上のためのアニール工程などを採用することが可能となり、プロセスの自由度が大幅に向上する。

【0033】以上述べた本発明の構造及び製造方法を用いることにより、非晶質弗化炭素膜を用いる場合の加熱処理時の弗素の拡散、反応が防止される結果、非晶質弗化炭素膜における弗素含有量の低下や金属中での弗化物の形成及びそれに伴う抵抗値増加や膜の膨れや剥がれなどを防止することが可能となり、非晶質弗化炭素膜が低誘電率であるという特徴を生かした信頼性、生産性の高い高集積半導体装置の製造が可能となるのである。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、図面を交えながら発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0035】（実施例1）図1から図4を用いて、2層構造の多層配線を有する半導体装置の実施例を説明する。以下に述べる技術を繰り返し用いるならば、いかなる多層配線をも実現できることは言うまでもない。図1は本実施例の最終断面構造を示し、図2から図4は図1の構造の形成過程を示している。

【0036】まず、図1の最終断面構造を説明しておく。拡散層などの図示しない素子領域が形成されたシリコン基板1上に、絶縁膜2を介して、第1配線層3が設けられている。その上に上下を密着層41及び43で挟んだ非晶質弗化炭素膜42が設けられ、これらにより低誘電率層間絶縁膜4を形成している。この密着層41及び43は、いずれも“シリコン過剰膜/DLC膜”の2層構造の絶縁膜であり、それぞれの非晶質弗化炭素膜42側にDLC膜を有している。低誘電率層間絶縁膜4の上部には平坦化絶縁膜5が設けられ、両者併せて層間絶縁膜としての役割を果たす。平坦化絶縁膜5の上部及び開孔部には本発明の主要構成である窒素含有高融点金属膜6が全面に設置され、さらにその上に第2配線層8が

設けられ、ビアホール底面において第1配線層3と電気的に接続している。

【0037】次に、図2から図4のプロセス工程断面図を用いて、図1の構造の製造方法を説明する。

【0038】まず、図2(a)の段階を説明する。この半導体装置における多層配線構造は、あらかじめ素子形成領域である拡散層等(図示せず)が形成されたシリコン基板1上に通常のCVD法等で形成した絶縁膜2上に形成される。絶縁膜2には、まずシリコン基板1上の拡散層等の半導体素子領域への接続孔(コンタクトホール:図示せず)が通常の方法で形成される。次に、最下層の第1配線層3として、全面にTiNを数nm〜数10nm、AlSiCuを600nm、続いて再びTiNを数nm〜数10nm、それぞれスパッタ法で形成した[図2(a)では、この“TiN/AlSiCu/TiN構造”を一体化して示した]。

【0039】次いで、通常のリソグラフィ技術を用いて選択エッチング用レジストマスクを形成し、これを通常のドライエッチングを施すことで、最下層の第1配線層3を図2(b)のようにパターン化して配線とする。

【0040】次に、レジストマスクを除去した後、密着層41、非晶質弗化炭素膜42、密着層43よりなる低誘電率層間絶縁膜4を形成に移る[図2(c)]。前述のように、密着層41及び43は、それぞれ“DLC/シリコン過剰膜”の2層構造であるため、低誘電率層間絶縁膜4全体では、下から“シリコン過剰膜/DLC/非晶質弗化炭素膜42/DLC/シリコン過剰膜”という多層構造を持つ。本実施例では、これらの全てをプラズマCVDにより成膜した。

【0041】シリコン過剰膜としては、プラズマCVDの原料に用いるシラン(SiH_4)と酸素の供給量を調節することにより、シリコンと酸素の構成比がほぼ1対1の酸化膜(SiO)を成膜した。次に、DLC膜の成膜においては、膜中に適切な水素濃度を持たせることにより、膜に強度と密着性を持たせることができる。本実施例では、DLC成膜の原料としては CH_4 を用い、プラズマCVDによる成膜時の基板へのバイアス印加により膜中の水素濃度を調節した。

【0042】次に、 CF_4 、 CH_4 を原料として非晶質弗化炭素膜を成膜する。その後、DLCの成膜、シリコン過剰膜の成膜を繰り返し、密着層41(シリコン過剰膜/DLC)/非晶質弗化炭素膜42/密着層43(DLC/シリコン過剰膜)からなる低誘電率層間絶縁膜4の形成が完成する[図2(c)]。シリコン過剰膜とDLCからなる密着層41、43は、上下層と第1配線層との密着性向上の他に、第1配線層のAlを弗素による腐食から保護する役目も兼ねることになる。これらの目的のためには、シリコン過剰膜、DLC膜は、それぞれ5nm程度以上の厚さがあればよい。本実施例では、シリコン過剰膜及びDLC膜の膜厚はそれぞれ50nm、従って上

下の密着層41、43の厚さはそれぞれ100nmとした。また、非晶質弗化炭素膜42の膜厚は600nmとした。

【0043】なお、本実施例では、非晶質弗化炭素膜42成膜の原料ガスとして CF_4 と CH_4 を用いたが、この他に CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_8 、 CHF_3 等の弗素を含有するガスを原料として使用可能であり、また、これらに水素(H_2)または炭化水素(CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 C_5H_{12} 等)を混合して原料ガスとして用いても良いことは言うまでもない。また、特開平8-236517号公報に開示されているように、非晶質弗化炭素膜42に窒素またはシリコンを添加して耐熱性向上をはかることも、なんら本発明の効果を減ずるものではない。

【0044】次に、低誘電率層間絶縁膜4の形成に引き続き、平坦化絶縁膜5を成膜する。本実施例では、平坦化絶縁膜5として膜厚約2 μm の SiO_2 をプラズマCVDにより成膜した[図3(d)]。ここに厚い平坦化絶縁膜5が得られたが、表面には第1配線層3の高さ程度の凹凸が残存しており、これをCMPにより平坦化する。CMPによる平坦化には通常のアルカリ性スラリーを用い、平坦化絶縁膜5を800nm研磨することで完全に平坦化できた[図3(e)]。

【0045】引き続きビアホールの開孔工程に移る。まず、通常のリソグラフィ工程にてビアホール開孔のためのレジストマスク10を形成する。次に、平坦化絶縁膜5である SiO_2 膜を CF_4 ガス等を用いた通常のドライエッチングにより SiO_2 膜の中で止まるように選択エッチングし、引き続き、非晶質弗化炭素膜42を含む低誘電率層間絶縁膜4を酸素を用いるエッチングにより選択エッチングする[図3(f)]。

【0046】次に、レジストマスク10を通常酸素プラズマ中での灰化処理で取り除き、ビアホールが開孔する[図4(g)]。

【0047】ビアホールが完全に開孔した後、本発明の主要部分である窒素含有高融点金属膜6を形成する。本実施例においては、窒素含有高融点金属膜6として窒化チタンをスパッタ法により全面に形成した[図4(h)]。成膜時の基板温度は200°C、膜厚は100nmとした。ただし、スパッタ法による成膜では平坦部とホール側壁部の膜厚が大きく異なっており、本実施例の場合、平坦部では100nmの膜厚であるのに対し、ビアホール側壁部の膜厚は約10nmであった。

【0048】なお、窒化チタンの成膜をスパッタ法以外の成膜法により行ってもよいことは言うまでもない。特に、熱CVD法やプラズマCVD法などの手法では、上記のような場所による膜厚差の少ない、コンフォーマルな成膜が可能である点で有利である。

【0049】最後に、埋め込み第2配線層8を形成する。本実施例では、AlSiCu層を基板温度を200°Cに設定して熱CVD法にて全面に形成することにより、

第2配線層8とし〔図4(i)〕、2層配線構造を完成した。

【0050】以上で、非晶質弗化炭素膜42を中心とする低誘電率層間絶縁膜4及び弗素拡散防止膜としての窒素含有高融点金属膜6を有する2層配線構造が実現したが、さらに多層化を進めようとするならば、図2(b)以降のプロセスを繰り返せば良い。

【0051】以上のプロセスで完成した図1に示す本実施例の構造において、加熱処理を行って窒素含有高融点金属膜6の弗素拡散防止効果を調べた。熱処理としては、真空中で200°Cから350°Cの加熱を30分間行い、その後の弗素の拡散や構造の変化を調べた。図5は、図1に示す本実施例の構造に熱処理を加えた後、非晶質弗化炭素膜42と窒化チタンからなる窒素含有高融点金属膜6の界面近傍の弗素組成をXPSにより測定した結果を示している。図5に示すように、窒化チタンからなる窒素含有高融点金属膜6を有する本発明の構造においては、弗素の拡散は認められず、弗素の拡散及び反応が防止されたことが分かる。また、熱処理前後の断面構造を走査電子顕微鏡で観察しても、膨れや剥がれなどは一切観察されず、熱処理前後で構造上の差異は認められなかった。以上の試験により、図1に示す窒素含有高融点金属膜を有する本発明の構造では、熱処理の際の金属と弗素の反応を防止できることが確認できた。ただし、アルミニウム系合金を配線に用いる場合、配線材料の耐熱性を考慮すると、熱処理の加熱温度は400°C以下に抑えることが望ましい。

【0052】また、熱処理を行った際でもTiNと非晶質弗化炭素膜の界面に剥がれ等が見られないことから、この両者の密着性は良好であることが分かる。つまり、TiN膜を用いる場合、弗素拡散防止効果とともに密着性向上ももたらすという副次的効果が得られる。

【0053】次に、図1の構造において窒素含有高融点金属膜として用いる窒化チタンの膜厚を変化させ、前述と同様の実験により弗素拡散防止効果を調べた。その結果、上記の熱処理条件では、窒化チタンの膜厚が5nm以上であれば、十分な拡散防止効果が得られることが明らかとなった。この必要な膜厚の下限は加熱処理の条件によって変化するが、一般に温度を高く、時間を長くする場合に膜厚を厚くする必要があることは自明である。また、膜厚の上限は特に規定されないが、微細化したビアホールやコンタクトホールへの埋込性やその後の第2配線層の加工性を考慮すると、最大50nm程度以下の範囲で出来るだけ薄膜化することが望ましい。

【0054】更に、第2配線層8に用いる配線材料をAlSiCu合金からAl, W, Ti, さらに多結晶シリコンに変更して同様の試験を行ったが、AlSiCuの場合と同様、これらの配線金属内への弗素の拡散は観測されず、また、膨れなどの問題も生じなかった。これらより、本発明の構造による弗素の拡散防止効果は、配線

材料として用いる金属の材質によらないことが確認できた。

【0055】また、図1の構造において、窒素含有高融点金属膜6として用いる材料を、窒化チタンから窒素を含有させたタングステン及び窒素を含有させたタンタルに変更した場合においても、同様に弗素の拡散防止に有効であることを確認した。

【0056】(実施例2)次に、図6及び図7を用いて第2の実施例を説明する。

10 【0057】図6は、本実施例の完成後の断面構造を示す図である。本実施例の特徴は、弗素拡散防止のための窒素含有高融点金属膜6(TiN)と第2配線層8の間にチタン膜9を挿入している点にある。このチタン膜9の存在により、その上部にアルミニウム合金膜をスパッタ成膜する際のホール内への埋め込み性を改善する、いわゆるアルミニウムのリフローが容易となることが知られている(例えば、H.Nishimura et al. Proc. VLSI Multi level Interconnection Conf., p170, 1991に記載)。

20 【0058】図7は、本実施例の主要工程の断面図を示している。ただし本実施例は、第1の実施例と第2配線層の構造が異なるのみであり、製造工程も窒素含有高融点金属膜の成膜工程まで〔図2(a)から図4(h)までに対応〕は、第1の実施例の製造工程と同一であるので、それ以降の工程のみを示している。本実施例では、窒化チタンからなる窒素含有高融点金属膜6の成膜に引き続き、基板温度200°Cにてチタン膜9をスパッタ法により約10nmの厚さだけ成膜する。その後、基板温度350°CにおいてAlSiCuをスパッタ成膜して第2配線層8とし、図6に示す多層配線構造を完成した。

30 【0059】本実施例の第2配線層AlSiCuの成膜温度が第1の実施例よりも高温となっているのは、Al合金に流動性を持たせてホールへの埋込を行う、いわゆるAlのリフローのためであり、また、チタン膜9を下地として用いることによりAl合金と下地との界面エネルギーが低下し、成膜の際の凝集を防ぐことが出来る。これらの結果として、本実施例では、図6に示すように、第2配線層8に用いたAlSiCuのビアホールへの埋め込み性を改善し、ピア抵抗が低抵抗化でき、図1に示した第1の実施例と比べて、より信頼性の高い配線構造が提供できる。

40 【0060】本実施例においては、窒素含有高融点金属膜6の形成後に、350°Cの加熱工程を含むAlSiCuのスパッタ成膜を行っている。しかし、窒素含有高融点金属膜6の弗素拡散防止効果は、第1の実施例と全く同様であった。すなわち、熱処理の後もTi及びAlSiCu内への弗素の拡散は認められず、また、膨れや膜の剥がれなどの問題は一切生じなかった。

【0061】また、実施例では、第1配線層3と第2配線層8との間の層間絶縁膜は、低誘電率層間絶縁膜4と平坦化絶縁膜5からなるが、これを低誘電率層間絶縁膜

4のみで形成することも可能である。この場合、窒素含有高融点金属膜6として用いるTiNが非晶質炭素膜4と良好な密着性を有することから、上側の密着層43を設置する必要がなくなるという効果も得られる。

【0062】さらに、実施例では、絶縁膜2として通常の絶縁膜PSGを用いたが、この絶縁膜2を非晶質炭素膜4を主構成とする低誘電率層間絶縁膜4を含む膜で構成することももちろん可能である。この場合、シリコン基板1と第1配線層3を接続するコンタクトホールに埋め込む配線金属の側壁保護に、窒素含有高融点金属膜を用いればよいことは言うまでもない。

【0063】(実施例3) 次に、図10を用いて第3の実施例を説明する。本実施例の特徴は、第1配線層3に銅を適用した事例である。銅の比抵抗は“1.8程度”であり、アルミニウムの“2.9”に比較して30%程度低いことから、配線抵抗を下げる効果が効果的である。一般に、シリコンを含有する絶縁膜に用いる場合、銅の拡散を抑制するために窒素含有高融点金属膜6(TiN)を用いることが知られている(International Electron Device Meeting, p.769, 1997)。本実施例において、層間膜は、非晶質炭素膜4上にシリコン酸化膜の平坦化絶縁膜5を形成し、さらに、窒素含有高融点金属膜6(TiN)を層間膜と第1配線層3の間に形成する構造である。

【0064】この事例において、窒素含有高融点金属膜6(TiN)の役割は、非晶質炭素膜4と配線金属との反応を抑制する効果と、銅が平坦化絶縁膜5に拡散を抑制する効果と二つである。このとき、非晶質炭素膜4と配線金属との反応を抑制するのに必要な膜厚は5nm程度であったが、平坦化絶縁膜5への銅の拡散を抑制するのに必要な膜厚は10nm程度と厚い。この理由は、窒素含有高融点金属膜6(TiN)は、シリコン酸化膜との反応により有効膜厚が減少するからである。一般にスパッタ法などで成膜した膜の被覆性によると、配線底部近傍の側壁における金属膜厚がもっとも薄くなる。

【0065】本発明の構造では、窒素含有高融点金属膜6(TiN)が最小膜厚となる配線底部近傍の側壁において、非晶質炭素膜4が露出する。一方、非晶質炭素膜4は銅が拡散しない。したがって、配線底部近傍の窒素含有高融点金属膜6(TiN)は、弗素拡散防止のためのみに目的が減るために、必要な窒素含有高融点金属膜6の最小膜厚を5nm程度に薄くできる。その効果として、図11に図示するように、0.1μm程度の微細な線幅をもつ銅配線の配線抵抗を低下できる効果を有する。

【0066】この実施例の製造方法を次に図12を用いて説明する。まず、シリコン基板1上に絶縁膜2を成膜する[図12(a)]。続いて、非晶質炭素膜4を60nm程度の膜厚で成膜したのちに、シリコン酸化膜か

らなる平坦化絶縁膜5を20nm程度成膜する[図12(b)]。

【0067】続いて、レジストを用いたリソグラフィー技術を用いて、反転パターンにてレジストマスク10を形成し、酸化膜エッチングと非晶質炭素膜4をエッチングして、溝が形成する[図12(c)]。次に、レジストマスク10を除去したのちに、窒素含有高融点金属膜6(TiN)を20nm程度の膜厚で成膜し、続いて、銅11を1μm程度の膜厚で成膜する[図12(d)]。その後、CMPで銅11と窒素含有高融点金属膜6(TiN)をエッチバックして図12(e)に示す構造が実現できる。

【0068】なお、実施例1、実施例2及び実施例3では、ビアホールに埋め込む金属材料と第2配線層として用いる金属材料を一体として構成したが、これをビアプラグと第2配線層とで別個に構成しても良い。例えば、ビアプラグとしてWを埋め込んだ後、第2配線層としてAl合金を形成しても良い。この場合でも、本発明の窒素含有高融点金属膜による弗素拡散防止効果には何ら変わりはない。

【0069】また、実施例1、実施例2及び実施例3において、平坦化絶縁膜5としてシリコン酸化膜を用いたが、これをシリコン窒化膜またはシリコンオキシナイトライド膜に置き換えてもよいことは言うまでもない。

【0070】

【発明の効果】課題で述べたように、非晶質炭素膜は、誘電率が低く、層間絶縁膜としての期待が大きいものの、膜中に含まれる弗素と金属との反応性が高いことが原因で、耐熱性が悪く、現実のプロセスへの適用が困難であった。しかし、配線金属又は合金と非晶質炭素膜の界面に窒素含有高融点金属膜を挿入することにより、熱処理時の弗素の拡散、反応が防止され、非晶質炭素膜における弗素含有量の低下や金属中での弗化物の形成を抑えることが可能となった。

【0071】特に、この窒素含有高融点金属膜が導電性である場合、コンタクトホールやビアホールに埋め込む金属の保護膜として効果があり、プロセスを複雑にすることなく金属を弗素との反応から保護する構造が得られる。

【0072】この結果、非晶質炭素膜を絶縁膜として用いる半導体装置において、非晶質炭素膜と金属材料が接触するような箇所には、従来知られていたシリコン系絶縁膜と本発明が開示する窒素含有高融点金属膜のうちのいずれかを選んで、その界面に設置することにより、金属と弗素の反応を防止することが可能となった。つまり、非晶質炭素膜—金属界面の内、構造上またはプロセス上絶縁膜であることが望ましい箇所にはシリコン系絶縁膜を、逆に導電膜であることが望ましい箇所には導電性の窒素含有高融点金属膜を、設置すればよいことになり、構造上の自由度が大幅に向上した。も

ちろん、比較的弗素に腐食されにくい金属あるいは腐食されても素子性能への影響の少ない箇所の界面にこれらの弗素拡散防止膜を設置しないことは、設計的事項に属する。

【0073】以上の通り、金属と非晶質弗化炭素膜の界面に窒素含有高融点金属膜を配置することにより、金属と弗素との反応やそれに起因する抵抗値の増大、プロセス中での各種膜の剥がれなど問題が皆無となった。この本発明の構造を用いることにより、初めて非晶質弗化炭素膜を層間絶縁膜として用いる半導体装置において、実用的な構造及び製造プロセスが完成し、非晶質弗化炭素膜の低誘電率であるという特徴を生かした高集積化が可能となったのである。

【0074】また、このような目的で用いる窒化チタン膜には、非晶質弗化炭素膜の密着性を向上させるという効果もある。

【0075】また、この窒素含有高融点金属膜を実施例のように上部配線層の下地として用いる場合には、LSIプロセスの中では異質な材料である炭素と弗素の含まれた材料がウエーハ表面に露呈することを防ぐという効果もあわせ持っている。すなわち、窒素含有高融点金属膜が弗素拡散防止効果を持つ結果、プロセスラインにウエーハをとす場合に炭素や弗素で現在のラインを汚染する心配がないわけである。

【0076】さらに、実施例においては、非晶質弗化炭素膜を層間絶縁膜に用いた多層配線構造におけるビアホールの埋込金属保護に窒素含有高融点金属膜を用いる場合を説明したが、本発明の効果はこの構造に限定されるものではない。すなわち、いかなる半導体装置の構造においても、非晶質弗化炭素膜と金属材料との界面に窒素含有高融点金属膜を挿入することによって、同様の弗素拡散防止効果が得られる。

【0077】なお、本発明における窒素含有高融点金属における弗素拡散防止効果は、弗素含有膜が非晶質弗化炭素である場合に限らず得られるであろう。つまり、半導体装置に他の弗素含有材料を採用する場合においても、その材料と金属との界面に窒素含有高融点金属膜を配することで弗素含有材料の耐熱性向上と金属材料を保護する効果が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例で得られる多層配線構造の完成断面図である。

【図2】本発明の第1の実施例の製造方法の(a)~(c)の主要製造工程順の断面図である。

【図3】図2の(c)の工程に続く(d)~(f)の主要製造工程順の断面図である。

【図4】図3の(f)の工程に続く(g)~(i)の主要製造工程順の断面図である。

【図5】本発明の第1の実施例における窒化チタンと非晶質弗化炭素膜の界面近傍における弗素分布の熱処理温度依存性を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施例で得られる多層配線構造の完成断面図である。

【図7】本発明の第2の実施例の製造方法の主要製造工程での断面図である。

【図8】非晶質弗化炭素膜を用いる多層配線構造の従来例の断面図である。

【図9】従来例におけるチタンと非晶質弗化炭素膜の界面近傍における弗素分布の熱処理温度依存性を示す図である。

【図10】本発明の第3の実施例で得られる多層配線構造の断面図である。

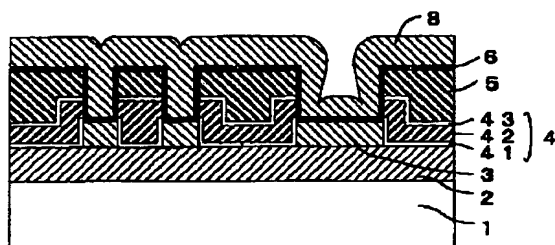
【図11】本発明の第3の実施例における配線幅と配線抵抗率を示すグラフである。

【図12】本発明の第3の実施例の製造方法の主要製造工程での断面図である。

【符号の説明】

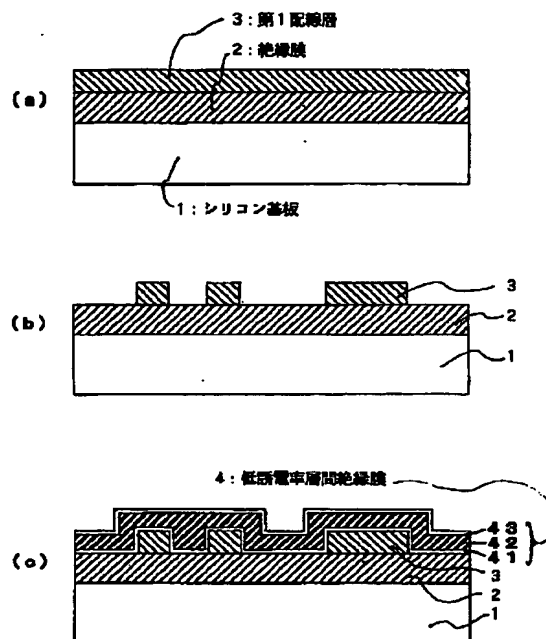
- 1 シリコン基板
- 2 絶縁膜
- 3 第1配線層
- 4 低誘電率層間絶縁膜
- 5 平坦化絶縁膜
- 6 窒素含有高融点金属膜
- 7 ビアプラグ
- 8 第2配線層
- 9 チタン膜
- 10 レジストマスク
- 41 密着層
- 42 非晶質弗化炭素膜
- 43 密着層

【図1】

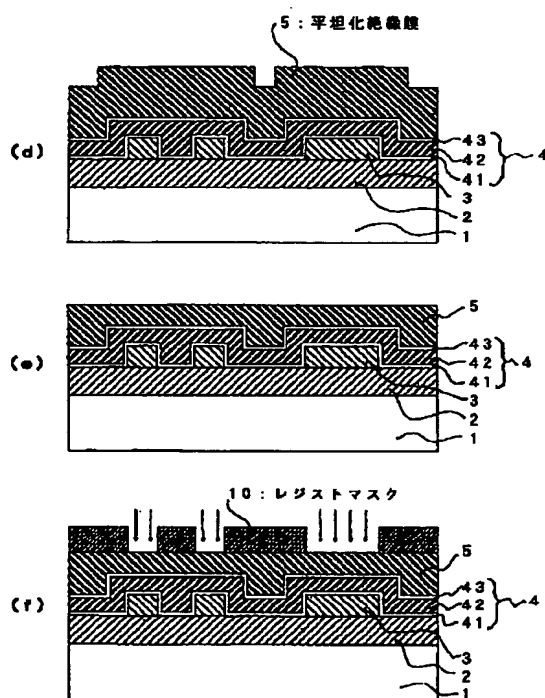


- 1: シリコン基板
 2: 絶縁膜
 3: 第1配線層
 4: 低誘電率層間絶縁膜
 5: 平坦化絶縁膜
 6: 錫素含有高融点金属膜
 8: 第2配線層
 41: 密着層
 42: 非晶質炭素膜
 43: 密着層

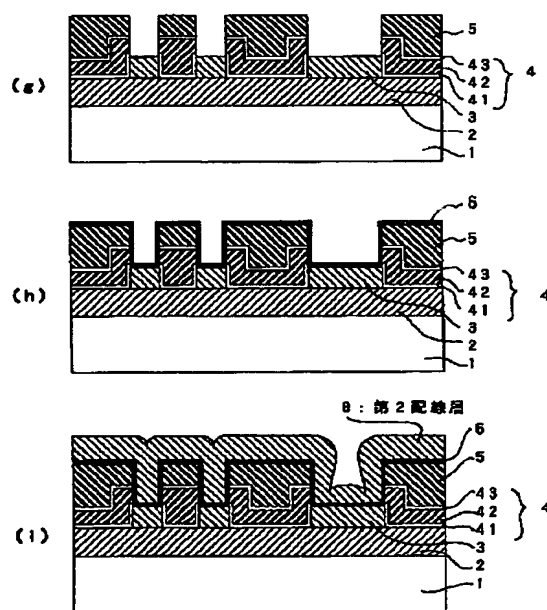
【図2】



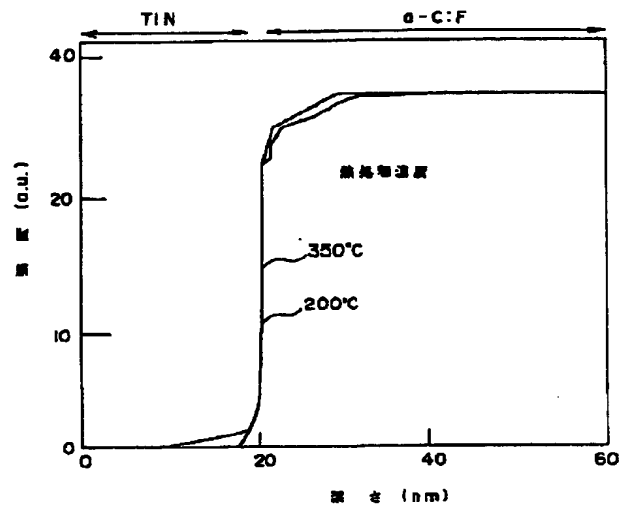
【図3】



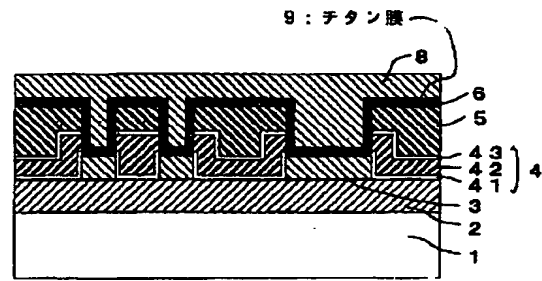
【図4】



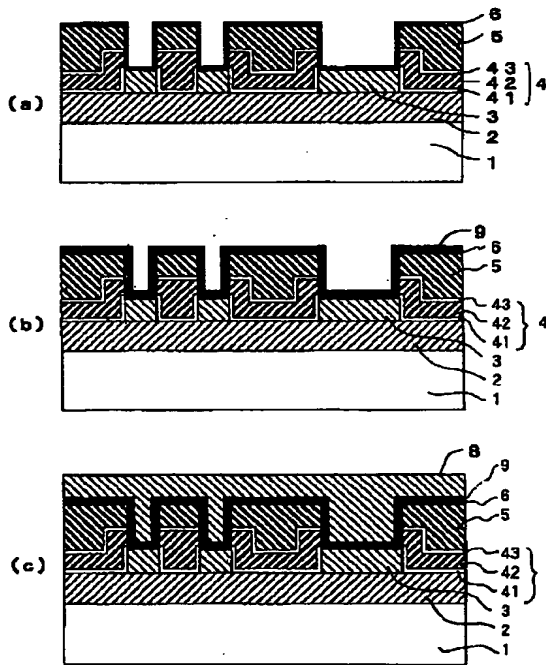
【図5】



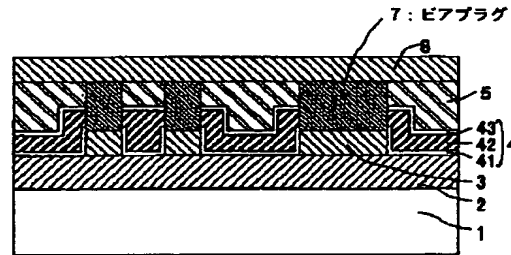
【図6】



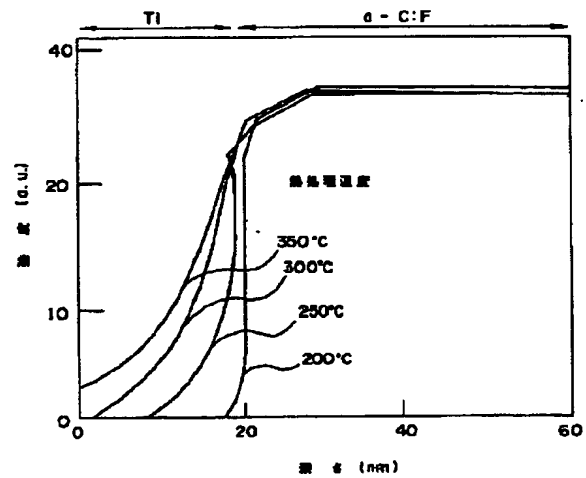
【図7】



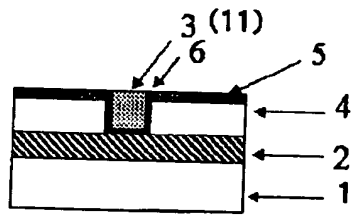
【図8】



【図9】

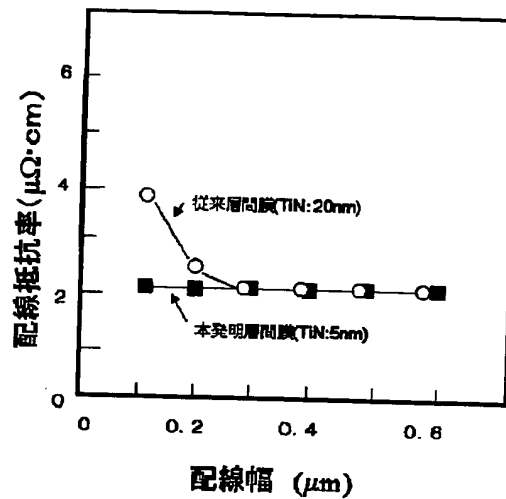


【図10】

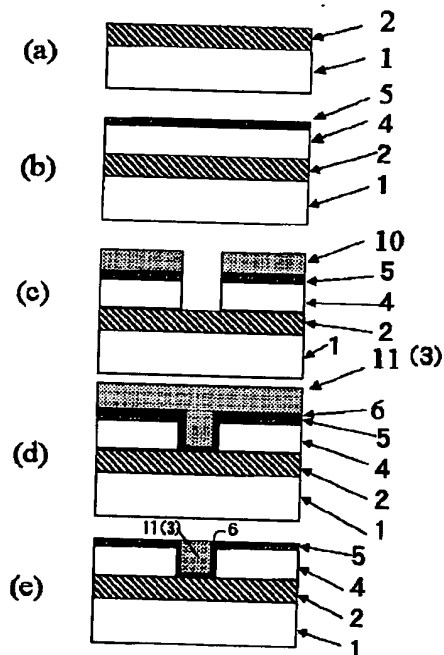


- | | |
|------------|--------------|
| 1 シリコン基板 | 6 窒素含有高融点金属膜 |
| 2 絶縁膜 | 11 銅 |
| 3 第1配線層 | |
| 4 非晶質弗化炭素膜 | |
| 5 平坦化絶縁膜 | |

【図11】



【図12】



- | | |
|------------------------|--------------|
| 1 シリコン基板 | 6 窒素含有高融点金属膜 |
| 2 絶縁膜 | 10 レジストマスク |
| 3 第1配線層 | 11 銅 |
| 4 非晶質弗化炭素膜 (低誘電率層間絶縁膜) | |
| 5 平坦化絶縁膜 | |